



Zanim zaptacisz za badania kompatybilności

Pewnie wiele zarządzający firmami produkującymi sprzęt elektroniczny zastanawiali się czy istnieje jakaś metoda wykonania wstępnych badań kompatybilności elektromagnetycznej, tak aby do certyfikowanego laboratorium pojechał przyrząd tylko w celu potwierdzenia zgodności z normami zamiast takiego, który jeszcze będzie wymagał poprawienia. Bo przecież każda poprawka, to konieczność umówienia kolejnej wizyty i zapłaty kolejnego rachunku. Czy można tego uniknąć?

Większość współczesnych urządzeń elektronicznych jest wyposażonych w mikrokontrolery lub inne podzespoły pracujące synchronicznie. Wzrost częstotliwości zegarowych oraz gęstości upakowania podzespołów są powodami, dla których konstruktorowi jest trudno zapanować nad generowanymi przez układ zaburzeniami elektromagnetycznymi. Z tego powodu pojawiło się zapotrzebowanie na instrumenty pomiarowe umożliwiające wykonanie wstępnych badań oraz określenie czy skonstruowany prototyp spełnia wymagania norm kompatybilności.

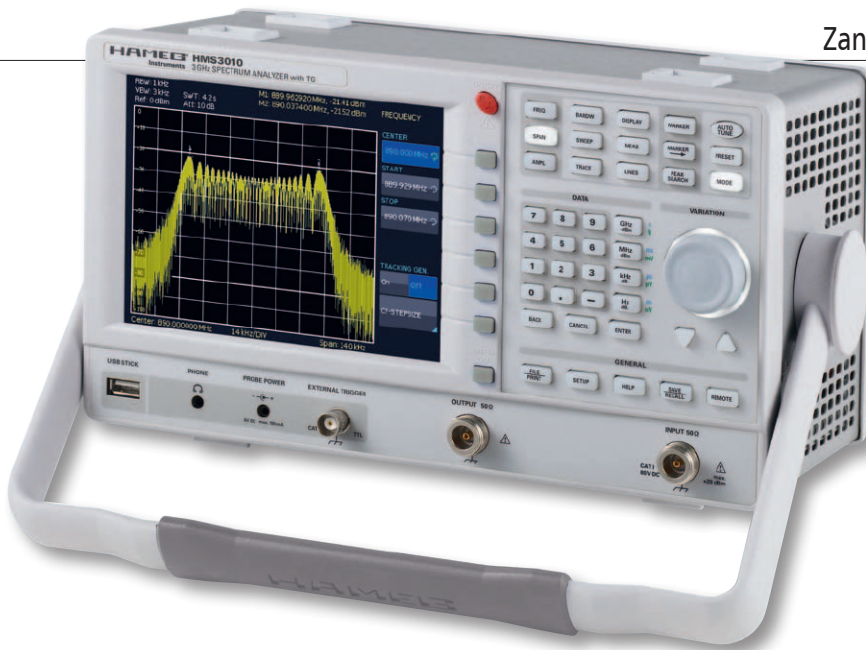
Aby mieć możliwość wykonania pomiarów w pełnym zakresie częstotliwości taki przyrząd musi charakteryzować się szerokim pasmem mierzonych częstotliwości, rozciągającym się od 150 kHz do 1 GHz, a ostatnio mówi się o podniesieniu górnej granicy częstotliwości aż do 3 GHz.

Oscyloskop, a może...

Miernikiem o szerokopasmowym wejściu, dostępnym w większości biur konstrukcyjnych czy zakładów przemysłowych, jest oscyloskop. Z tego powodu niektórzy konstruktorzy próbują użyć go do wyko-

nia pomiarów szacunkowych. Niestety, oscyloskop ze względu na swoją uniwersalność nadaje się do tego typu zadań. Podstawowy tryb pomiarowy pokazuje sygnał w dziedzinie częstotliwości, ale nie jego widmo i nie amplitudy poszczególnych składowych.

Norma stosowana do określenia emisyjności wymaga wykonania pomiarów wartości quasi szczytowych i średnich poszczególnych prążków składowych. Szerokość pasma zależy od rodzaju badanych zaburzeń. Jak wspomniano wcześniej, typowo zakres mierzonych częstotliwości rozciąga się od 150 kHz do 1 GHz. Instrument pomiarowy musi mieć dużą czułość - rzędu pojedynczych μV . Dodatkowo, wyświetlacz powinien czytelnie i jednoznacznie pokazywać wyniki pomiarów, a ze względu na przeznaczenie przyrządu do prac konstrukcyjnych, już na pierwszy rzut oka powinien umożliwiać ocenę poszczególnych prążków widma częstotliwości. Do tego celu najlepiej nadaje się skala logarytmiczna.



Analizator widma

Rozważając powyższe łatwo jest dojść do wniosku, że do pomiarów emisyjności jest potrzebny analizator widma. Niestety, stale jest to grupa przyrządów, które nie są zbyt powszechne w biurach konstrukcyjnych. Często jako powód takiej sytuacji osoby zarządzające firmą podają wysoki koszt zakupu, a przecież do wstępnej oceny emisyjności nie jest potrzebny analizator widma klasy Rolls Royce'a! Ze względu na fakt, że będzie to przyrząd, który w typowej pracowni konstrukcyjnej nie będzie używany zbyt często, musi być łatwy w obsłudze dla każdego inżyniera i nie wymagać dodatkowego, kosztownego szkolenia. Taki zakup zwróci się szybciej, niż wydaje się to wielu decydującym o wydatkach w firmach.

Rozważmy – dzień spędzony na badaniu prototypu w certyfikowanym laboratorium może kosztować około 4 tysięcy złotych lub więcej i dlatego zakup prostego, nieskomplikowanego w obsłudze analizatora widma zwraca się już po 2-3 dniach spędzonych w laboratorium, czego może wymagać tylko praca nad pojedynczym prototypem. Badania następnych będą już niejako darmowe. W takiej sytuacji każde przedsiębiorstwo

zyskuje możliwość zapłaty rachunku tylko za wykonanie ostatecznych testów gotowego urządzenia, natomiast przeprowadzenie wstępnych badań w swoim biurze konstrukcyjnym. Oczywiście, pomiar emisyjności wymaga nie tylko odpowiedniego przyrządu pomiarowego, ale i elektromagnetycznej czystości otoczenia. Tę jednak można w jakiś sposób uzyskać chociażby budując niewielką, niskobudżetową, niekoniecznie zgodną z normami pomiarowymi, klatkę Faradaya lub stosując inne środki zaradcze.

Pomiar zaburzeń przewodzonych

W standardowym wyposażeniu każdego laboratorium pomiarowego jest tzw. sztuczna sieć (LISN – *Line Impedance Stabilization Network*). LISN to urządzenie, którego podstawowym zadaniem jest odizolowanie, separacja, detekcja oraz umożliwienie pomiarów zaburzeń przewodzonych. W certyfikowanym laboratorium jest ono używane w połączeniu z odpowiednim odbiornikiem. Do badań wstępnych w warunkach pracowni konstrukcyjnej czy też zakładu przemysłowego, sieć sztuczna może być używana w bezpośrednim połączeniu z analizatorem

widma, co jest bardziej praktyczne, tańsze i umożliwia szybsze wykonanie pomiarów.

Zastosowanie analizatora z serii HMS oraz sieci sztucznej HM6050-2 (fot. 1) umożliwia uzyskanie rezultatów porównywalnych z wynikami pomiarów w certyfikowanym laboratorium.

Zaburzenia promieniowane

Zaburzenia promieniowane od przewodzonych różnią się przede wszystkim ośrodkiem, w którym są propagowane. Zakres pomiarowy zaburzeń promieniowanych rozciąga się od 30 MHz do 1 GHz i spodziewane jest jego rozszerzenie do wyższych częstotliwości (do 3 GHz).

Normy wymagają zastosowania odpowiednich odbiorników, detektorów oraz anten umieszczonych w pomieszczeniu o odpowiednich wymiarach i ścianach wyłożonych absorberem, który zapobiega powstawaniu odbić. Wymagane jest też odizolowanie mierzonego urządzenia od wpływu jakichkolwiek źródeł zewnętrznych.

Wykonywanie pomiarów kompatybilności w laboratorium w fazie projektowania jest nieefektywne, kosztowne oraz pochłania mnóstwo czasu. W rzeczywistości konstruktor potrzebuje szybkiej odpowiedzi na pytania dotyczące zaburzeń promieniowanych przez przewody lub ścieżki łączące ze sobą poszczególne moduły czy obwody, doprowadzające sygnały do złącz i poza obudowę urządzenia. Nieco inne pomiary wykonywane są w certyfikowanym laboratorium, ponieważ tam zwykle jest dostarczane kompletne urządzenie umieszczone w obudowie. W trakcie trwania pomiaru jest ono obracane względem anteny umieszczonej na różnych wysokościach, tak aby sprawdzić natężenie ewentualnego promieniowania elektromagnetycznego z każdej strony i upewnić się, że urządzenie nie promieniuje w żadnym kierunku.

Tego typu pomiar w warunkach biura konstrukcyjnego nie jest potrzebny. Każdy



Fot. 1. Sieć sztuczna (LISN), taka jak HAMMEG HM6050-2 jest używana do odizolowania, identyfikacji i pomiaru zaburzeń przewodzonych



Fot. 2. Zestaw aktywnych sondy HZ540/550, które mogą być używane do pomiaru natężenia pola magnetycznego. Jego natężenie jest proporcjonalne do wartości prądu płynącego w obwodzie

technik czy konstruktor może bowiem wziąć w rękę sondę, odpowiednio ustawić urządzenie i sprawdzić interesujący go obszar. Do takich zastosowań firma Hammeg proponuje zestaw różnych sensorów (fot. 2).

Aktywny sensor pola E

Sensor pola elektrycznego jest czujnikiem szerokopasmowym o bardzo dużej czułości. Pozwala on na sprawdzenie całkowitej emisji danego komponentu lub całego urządzenia. Powinien być stosowany w odległości 0,5...1 m od mierzonego obiektu. Dzięki temu można mierzyć nie tylko efektywność ekranowania, ale również sprawność działania filtrów EMI włączonych w obwody kabli połączeniowych.

Ze względu na bardzo dużą czułość sensor E może wychwytywać również zaburzenia pochodzące od innych urządzeń pracujących w sąsiedztwie lub innych kabli połączeniowych. Dlatego też zaleca się przeprowadzanie testów w dwóch krokach: po pierwsze, pomiar i analiza tła, a po drugie, zmiany pola po włączeniu testowanego urządzenia. Oczywiście, nie da się w ten sposób wyeliminować prawdopodobieństwa pomiarów odbić sygnału (suma, różnica – w zależności od fazy), ale zwykle tego typu test, wykonany w razie potrzeby w różnych pomieszczeniach lub przy różnym ustawieniu obiektu, pozwala coś stwierdzić.

Rezultaty pomiarów sensorem E mogą być również zastosowane do oceny wpływu środowiska pracy na badane urządzenie. Można na przykład sprawdzić, czy na pracę prototypu mają wpływ zewnętrzne pola elektryczne i jaka jest krytyczna wartość ich natężenia. Ze względu na analizę wykonywaną w dziedzinie częstotliwości można szybko i łatwo zlokalizować przyczynę i źródło zaburzeń, a tej wiedzy użyć do przeciwdziałania. Ma to bezpośrednie przełożenie na koszt późniejszych badań wykonywanych przez certyfikowane laboratorium, ponieważ te prawdopodobnie zostaną wykonane tylko raz i nie będzie potrzeby ich powtarzania.

Aktywny sensor pola H

Jedną z najbardziej efektywnych metod przeciwdziałania zaburzeniom EMI jest dokładna, bliska ocena i lokalizacja prądów generujących interferencje. Niektórzy konstruktorzy na końcówkę sondy oscyloskopowej zakładają coś w rodzaju cewki i używają tej prymitywnej sondy do lokalizacji zmiennych pól magnetycznych. Oczywiście, czułość takiej sondy (pomijając jej wątpliwe parametry techniczne) jest mizerna i raczej pozwoli wykryć tylko naprawdę duże fluktuacje pola, których jeszcze na dodatek nie będzie można wiarygodnie ocenić.

Jeszcze inni konstruktorzy dotykają końcówką sondy oscyloskopu wprost do przewodów i punktów lutowniczych w myśl

zasady, że przy stałej impedancji wzrostowi napięcia towarzyszy wzrost płynącego przez nią prądu, starają się tą metodą zlokalizować źródło zaburzeń. To jednak prowadzi do mimowolnego myślenia w kategoriach lokalizacji i pomiaru napięcia, podczas gdy dobrze obeznani z zagadnieniami EMI inżynierowie wiedzą, że trzeba myśleć w kategoriach przepływu prądu.

Aktywna sonda H jest doskonałym dodatkiem do analizatora, pozwalającym na pomiary prądów interferencji metodą bezdotykową, bez potrzeby przecinania jakichkolwiek przewodników. Sonda jest niewrażliwa na odległe źródła zaburzeń i dlatego nie ma potrzeby wykonywania pomiarów w dwóch krokach, tak jak w przypadku opisywanej wcześniej sondy E.

Każdy metaliczny przewodnik jest anteną, która zarówno odbiera, jak i wypromieniowuje zaburzenia. Umieszczając sondę H w pobliżu przewodów i stosując analizator widma można się zdziwić odnajdując zaburzenia elektromagnetyczne w miejscach, w których zupełnie się ich nie spodziewaliśmy. Np. wysokie częstotliwości harmoniczne zegara mikroprocesora mogą być emitowane w przestrzeni przez kabel sieci zasilającej 230 VAC. Sonda H w połączeniu z logarytmiczną skalą analizatora widma pozwalają na szybkie stwierdzenie, czy wszystkie przewody wypromieniowują tę samą składową, czy też jest ona obecna tylko w niektórych miejscach. Dzięki temu można podjąć właściwe środki zaradcze.

Sonda wysokoimpedancyjna

Sonda o dużej impedancji wejściowej i niewielkiej, rzędu 2 pF pojemności, jest używana do pomiarów sygnałów szerokopasmowych o częstotliwości nie większej niż 1 GHz. Pełni ona rolę układu dopasowującego impedancję wejścia analizatora (50 Ω) do mierzonego obwodu. Można z jej pomocą mierzyć np. sygnały na nóżkach układów scalonych, bez nadmiernego obciążania obwodów.

Pomimo dobrych parametrów sondy zawartej w zestawie z fot. 2 w niektórych warunkach (zwłaszcza przy konstrukcji wrażliwych obwodów radiowych) zasadne jest zastosowanie sondy pomiarowej o lepszych parametrach tj. o mniejszej pojemności wejściowej i wyższej częstotliwości granicznej. Firma HAMMEG pod oznaczeniem HZ555 oferuje sondę o pojemności wejściowej mniejszej od 0,2 pF i górnej częstotliwości granicznej wynoszącej aż 3 GHz. Ta sonda powoduje znacznie mniejsze zmiany sygnału mierzonego i tym samym zapewnia wysoką precyzję pomiarów, co jest szczególnie ważne przy testowaniu układów wielkiej częstotliwości, w których niska impedancja wejściowa sondy może stłumić oscylacje będące źródłem potencjalnych problemów.

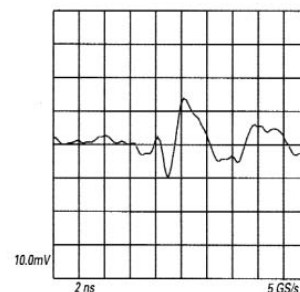
Każdy praktyk wie, że im jest wyższa mierzona częstotliwość, tym większy problem. Znaczenie ma każdy dodawany do obwodu pF.

Sonda pomiarowa HZ555 nie ma przewodu powrotnego. Prąd powrotny przepływa przez ciało operatora. Dzięki temu są możliwe pomiary potencjałów poszczególnych doprowadzeń układu scalonego lub pojedynczego pinu złącza czy przewodu. Dzięki wysokiej impedancji sondy i pojemnościowej metodzie pomiaru można również wykrywać zaburzenia trybu wspólnego.

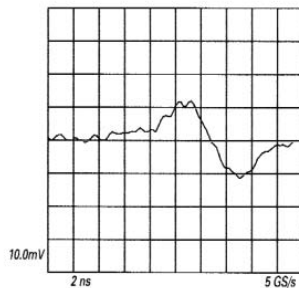
A jak to jest w praktyce?

Każdy inżynier konstruktor, mający pewne doświadczenie w zakresie budowanych przez siebie urządzeń, ma w zanadru kilka „chwytów” pozwalających na uniknięcie problemów związanych z normami kompatybilności elektromagnetycznej. Należą do nich staranne ekranowanie, odsprzęganie zasilania, odpowiednie prowadzenie przewodów połączeniowych czy też stosowanie dławików i filtrów. Często jednak ze względu na brak przyrządów pomiarowych ostateczne sprawdzenie urządzenia jest wykonywane w laboratorium. Czasami wówczas okazuje się, że zastosowane środki zaradcze są niewystarczające i konieczne jest użycie kolejnych „łat”. Pół biedy, jeśli zabraliśmy ze sobą walizkę z elementami i dławikami, i wynajęliśmy wystarczająco dużo czasu w laboratorium. Inaczej czeka nas mozolna zabawa z dobieraniem odpowiednich środków przeciwdziałania tzw. metodą macajewa. A później kolejne badanie i kolejny rachunek do zapłaceniam... Czy można temu zapobiec? Rozważmy sytuację, w której pomiar jest wykonywany w pracowni konstrukcyjnej przy użyciu opisanych wcześniej metod i analizatora widma.

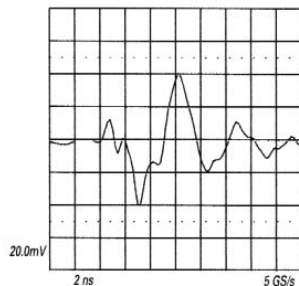
Sygnał może być pokazany w dziedzinie czasu lub częstotliwości. Zwykle dla użytkownika więcej informacji niesie reprezentacja w dziedzinie czasu, ponieważ jest ona naturalna i pozwala łatwiej zorientować się w naturze sygnału. Opisane niżej pomiary wykonano na płytce 4-warstwowej o wymiarach 100×160 mm (euro-karta). Ścieżki wiodące zasilanie są bardzo szerokie. Na środku płytki umieszczono grupę kondensatorów służących filtrowaniu zasilania. Odstęp po-



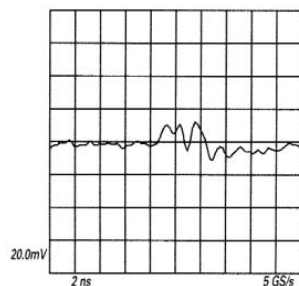
Rys. 3. Przepływ prądu w bezpośredniej bliskości nóżki VCC układu 74AC163



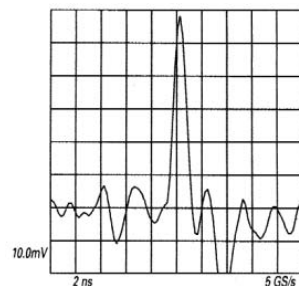
Rys. 4. Zmiany prądu w obszarze zamontowanie grupy kondensatorów



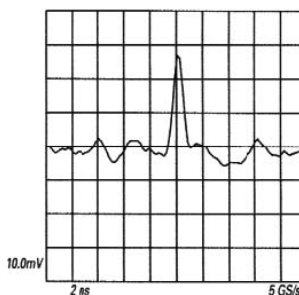
Rys. 5. Sygnał na nóżce VCC układu 74AC00



Rys. 6. Sygnał po zastosowaniu dławika i karbonizacji ścieżki VCC (opis w tekście)



Rys. 7. Sygnał zmierzony sondą μH w pobliżu wyjścia generatora zegarowego (opis w tekście)



Rys. 8. Rezystor szeregowy na wyjściu tłumi o połowę amplitudę zaburzeń

między VCC a ścieżkami masy był równy $100 \mu\text{m}$.

Na rys. 3 pokazano prąd płynący w pobliżu doprowadzenia VCC układu 74AC163. Amplituda odpowiada szybkości zmian pola magnetycznego, a więc jest proporcjonalna do szybkości zmian prądu. Zmiany są bardzo szybkie, zbocza mają czasy trwania poniżej nanosekundy. Składowa wysokiej częstotliwości prądu płynącego w bezpośrednim sąsiedztwie nóżki VCC może czerpać energię tylko z pojemności w bezpośredniej bliskości nóżki układu. Składowe wielkiej częstotliwości nie pobierają energii na dłuższych dystansach, ponieważ impedancja połączenia jest zbyt duża. W związku z tym z pojemności umieszczonych w większych odległościach pobierana będzie wyłącznie energia o niskiej częstotliwości.

Na rys. 4 pokazano szybkość zmian prądu przepływającego w pobliżu grupy kondensatorów umieszczonych w pobliżu centrum płytki drukowanej. Jest oczywiste, że ten sygnał jest znacznie wolniejszy od pokazanego na rys. 3. Czas narastania jego zboczy wynosi ok. 3 ns. Grupa kondensatorów może wstrzykiwać zmiany prądu pomiędzy warstwy płytki drukowanej. Te zmiany można zaobserwować tylko z użyciem czulej sondy μH o wysokiej rozdzielczości. Kolejny przykład pokazuje skuteczność zastosowanych środków zaradczych. Przebieg z rys. 5 pobrano z nóżki VCC układu 74AC00 przy użyciu sondy μH . Tu układ jest zasilany z systemu VCC – masa, bez zastosowania chociażby dławika. Zmiany pola magnetycznego są dość znaczne. Rys. 6 pokazuje ten sam sygnał, ale tu zasilanie jest dostarczane za pośrednictwem obwodu z dławikami. Pin VCC jest podłączony do płaszczyzny VCC przez dławik, a jej powierzchnia jest karbonizowana. Amplituda sygnału z rys. 6 jest znacząco mniejsza niż z rys. 5. W ten sposób konstruktor może ocenić skuteczność przeciwdziałania zaburzeniom EMI, bez konieczności angażowania dodatkowego, kosztownego zestawu pomiarowego czy płacenia za czas spędzony w laboratorium.

Ostatnim przykładem wielu możliwości wykonania wstępnych badań EMI jest sygnał pobrany z punktu dystrybucji zegara na płytce o wymiarach standardowej euro-karty. Rys. 7 pokazuje sygnał zmierzony sondą μH w środowisku bez żadnych środków przeciwdziałających EMI. Zarejestrowano zaburzenia o amplitudzie aż 60 mV . Następnie szeregowo z wyjściem układu włączono rezystor o wartości 82Ω . Rezultat pokazano na rys. 8 – amplituda sygnału zaburzeń spadła o połowę! Również i w tym przypadku, bez potrzeby udania się do laboratorium, w warunkach pracowni konstrukcyjnej od razu widać efekt zastosowania środków zaradczych.

Jacek Bogusz, EP
jacek.bogusz@ep.com.pl